

Кремниевая решетка с периодом 1,2 μm и малым углом блеска: изготовление и характеристика

Д.В. Мохов^{1,2}, Л.И. Горай^{1,2,3}, Т.Н. Березовская¹, К.Ю. Шубина¹, Н.А. Костромин^{1,2}, Е.В. Пирогов¹,
Н.Д. Прасолов⁴, А.Д. Буравлев^{2,3,4}

¹Академический университет им. Ж.И. Алфёрова РАН, 194021, Санкт-Петербург, Россия

²СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 19702, Санкт-Петербург, Россия

³Институт аналитического приборостроения РАН, 198095, Санкт-Петербург, Россия

⁴Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, 194021, Санкт-Петербург, Россия

Для применения в рентгеновском диапазоне спектра (от жесткого рентгена до экстремального ультрафиолета) наиболее подходят решётки с асимметричным треугольным профилем штриха. Отражательные решётки имеют хорошую дисперсию, высокое разрешение и максимальную дифракционную эффективность $\eta(n)$ в порядке спектра n при заданных углах падения и длинах волн излучения. Изготавливаемая Si решётка предназначена для работы в «нежном рентгене» в схеме классической или конической дифракции в определенном порядке и, следовательно, должна иметь соответствующую глубину штрихов (угол блеска).

Метод жидкостного травления Si подложек используют для изготовления дифракционных решёток с несимметричным профилем штрихов, предназначенных для ультрафиолетового [1], экстремального ультрафиолетового и рентгеновского излучения [2, 3].

В настоящей работе представлены результаты применения для получения решётки с периодом 1,2 мкм и малым углом блеска ($\alpha \leq 1,8^\circ$) ранее разработанного нами процесса изготовления среднечастотных решёток с углом блеска $\sim 4^\circ$ [4] и оптимизированного в части сглаживания профиля, в том числе для высокочастотных решеток [5].

Кремниевая дифракционная решётка с периодом 1,2 μm была изготовлена на пластине Si(111)1,8° с использованием лазерной литографии и анизотропного жидкостного травления. В процессе изготовления параметры решётки исследовали с помощью растровой электронной (РЭМ) и атомно-силовой микроскопии (АСМ).

Процесс изготовления Si решётки треугольного профиля состоит из четырех основных стадий: (1) получение рисунка защитной маски для травления штрихов; (2) анизотропное травление штрихов в растворе КОН; (3) травление для сглаживания профиля решетки и полирования поверхности отражающих граней; (4) нанесение отражающего покрытия.

На рис.1 показаны РЭМ изображения поверхности решётки с нанесенной маской фоторезиста (PR-маской) (рис.1а) и Cr-маской после взрыва (рис.1б). Как можно видеть на рис. 1а, на краях линий PR-маски наблюдается большая волнистость, которую удалось уменьшить обработкой кислородной плазмой. На краях линий Cr-маски также наблюдается наследуемая от PR-маски волнистость, но менее выраженная (рис. 1б). Травление в КОН выполнено

в два шага для достижения оптимальной глубины травления (рис.2а). После удаления Cr-маски в цериевом травителе решётку обработали в сглаживающем-полирующем травителе для удаления Si-выступов и уменьшения шероховатости отражающих граней (рис.2а).

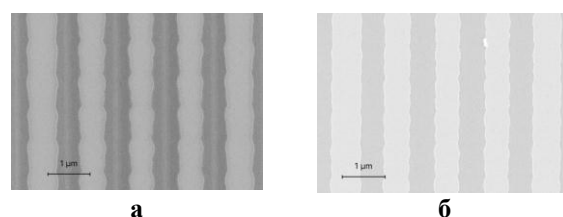


Рис. 1. РЭМ изображения поверхности, 50К: а) PR-маска (PR полосы темные); б) Cr-маска (Cr полосы светлые).

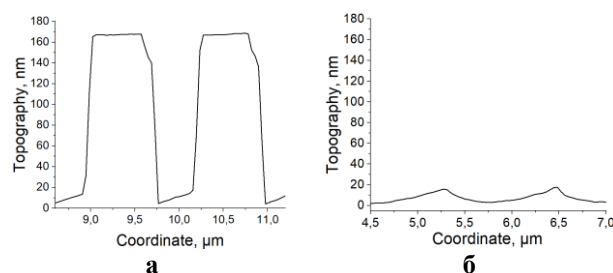


Рис. 2. АСМ профили после травления в: а) КОН; б) сглаживающем-полирующем травителе.

Согласно АСМ измерениям, изготовленная решетка размером 36x36 мм² имеет следующие параметры: угол блеска 1,0°, глубина штриха ~ 13 нм, шероховатость 0,84 нм (1x1 мкм²), 1,61 нм (20 мкм), значения которых позволяют ожидать высокую дифракционную эффективность в определенном порядке в диапазоне нежного рентгена.

1. B. Sheng, X. Xu, Y. Liu, Y. Hong, H. Zhou, T. Huo, S. Fu, *Opt Lett.*, 2009, 34(8), 1147–1149.
2. A.E. Franke, M.L. Schattenburg, E.M. Gullikson, J. Cottam, S.M. Kahn, A. Rasmussen. *J. Vac. Sci. Technol. B*, 1997, 15, 2940–2945.
3. D.L. Voronov, E.H. Anderson, R. Cambie, S. Cabrini, S.D. Dhuey, L.I. Goray, E.M. Gullikson, F. Salmassi, T. Warwick, V.V. Yashchuk, and H.A. Padmore. *Opt.Express.*, 2011, 19(7), 6320.
4. Л.И. Горай, Т.Н. Березовская, Д.В. Мохов, В.А. Шаров, К.Ю. Шубина, Е.В. Пирогов, А.С. Дашков. *ЖТФ*, 2021, т. 91, 10, 1538–1547.
5. Д.В. Мохов, Т.Н. Березовская, К.Ю. Шубина, Е.В. Пирогов, А.В. Нащекин, В.А. Шаров, Л.И. Горай. *ЖТФ*, 2022, т.92(8), 1192–1198.